

一点燃料噴射式内燃燃料機関における吸気管内噴霧流動の改善に関する研究

著者	全 興 信
号	1100
発行年	1987
URL	http://hdl.handle.net/10097/9836

氏 名	Jeon 全	Heung 興	Shin 信
授 与 学 位	工 学 博 士		
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 63 年 3 月 25 日		
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項		
研 究 科, 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博士課程) 精密工学専攻		
学 位 論 文 題 目	一 点 燃 料 噴 射 式 内 燃 機 関 に お け る 吸 気 管 内 噴 霧 流 動 の 改 善 に 関 す る 研 究		
指 導 指 官	東 北 大 学 教 授 永 井 伸 樹		
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 永 井 伸 樹	東 北 大 学 教 授 箱 守 京 次 郎	東 北 大 学 教 授 武 山 斌 郎

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

現用の自動車ガソリン機関の燃料供給装置の一つである気化器から噴射された燃料は、一部は液滴で浮遊し、残りは吸気管内壁面に付着して液膜状となり、気化しながらシリンダーへ供給される。この液膜の存在は過渡運転時はもちろんのこと、定常運転時の各シリンダーへの混合気の量的、質的分配の悪化およびシリンダーへの供給燃料流量の時間的変動などをおこしてエンジンの出力、燃料消費率、排気ガスおよび振動に大きく影響を与える。近年、排気ガスおよび石油危機が発生し、低回転域から高回転域まで安定した燃料供給を行うために、自動車エンジンの電子制御燃料噴射システムが開発され、先に述べた問題点を多く改善してきた。

最近、電子制御燃料噴射システムの問題点をさらに改善する目的で多点燃料噴射システムを一点燃料噴射システムで代替する研究がなされている。すなわち、多点燃料噴射システムは各シリンダーごとに燃料を噴射することであるが、一点燃料噴射システムは気化器がおかれていた位置で燃料を噴射するものである。一点燃料噴射式の長所はコンピュータ制御が容易であり、アイドリング時の微量燃料流量調節精度がよい。さらに噴射弁の数が減るのでコスト的にもかなり有利である。しかし短所は配置位置が気化器式と同様であるので不均一な混合気分配や過渡運転時の応答特性の低下が起る心配がある。

本研究では以上のような観点から一点燃料噴射方式を取り上げ、吸気管内の噴霧挙動を解析して、

微粒化特性がよい二流体噴射弁を開発採用して、一点燃料噴射式の有用性を立証することをねらいとする。

第2章 気化器を用いた場合の吸気管内の噴霧流動

従来の燃料供給装置である気化器を用いた場合、吸気管内の流動現象を明確に把握する目的で実験を行なった。実験装置は、吸気管内の液体液膜を観察するために、実用ガソリン機関の吸気管を想定して透明なアクリルで製作した可視型吸気系統の模型装置である。液膜厚さ測定方法には液膜厚さの変動を電気抵抗の変動に変換させる方法を用いた。液膜流量の測定には、各実験条件に対し、液膜分離装置の下にあるビュレットで採集量が5～50 ccになるまでの時間を数回反復測定して平均値を求めた。吸気管内噴霧挙動の実験には液体流量、スロットル弁開度、吸気管空気速度および吸入空気等の実験条件に対し行なった。その結果気化器を用いた場合、吸気管内の流動現象を明確にし、吸気管内の液膜厚さの分布は、スロットル弁を閉じるほど、また同じスロットル弁の開度でも管内空気速度が大きいほど、大きく偏り、この不均一な液膜厚さ分布が混合気分配に悪い影響を与える。

第3章 二流体噴射ノズルを用いた場合の吸気管内の噴霧挙動

二流体噴射弁を自動車用燃料供給装置として用いた場合の吸気管内噴霧挙動の問題点を把握する目的で実験を行なった。実験はまず二流体噴射弁に対する微粒化特性を大気圧下で求める。次にこの噴射弁をモデル吸気管に装着して実験を行なった。

実験の結果、液膜流量率はスロットル弁開度により大きく影響を受ける。また液滴粒径によっても大きく影響を受ける。壁面への液滴輸送流束は二流体噴射弁の噴霧外周線と管内壁面との交点付近領域が最大である。スロットル弁の開度が小さいとき下流側には大きなうずが生成し、吸気管内の空気速度および液滴流束分布が大きく異なる。またスロットル弁の開度が90°の場合（全開）、液膜流量率は二流体噴射弁を用いた方が低いことがわかった。しかしスロットル弁の開度による液膜流量率は、気化器を用いた場合はほぼ均一な分布になっているが、二流体噴射弁を用いた場合は大きく変化することがわかる。これは気化器を用いた場合はスロットル弁による再微粒化が期待されるが、二流体噴射弁を用いた場合は噴射によるスロットル弁との衝突によって液膜流量率が逆に増加するためである。したがって二流体噴射弁を用いた場合は、スロットル弁による液膜流量率の変化が大きいので噴射弁をスロットル弁の後方に設置した方がはるかに液膜流量率を低減することができる。さらに液滴が吸気管内の壁面上に付着するのは管内の空気流の乱れのうず拡散によるものと考えて解析を行なった結果、壁面への液滴付着の主原因は管内空気流のうず拡散だけでなく液体自体の初期運動も影響を及ぼすことがわかった。

第4章 吸気管内噴霧挙動の数値シミュレーション

本章の目的は第3章の結果により吸気管内の液膜流量率の低減のため、スロットル弁がない場合の噴霧液滴の管内飛跡および壁面付着現象を明らかにすることである。

二流体噴射弁から噴射された液滴群が吸気管内を空気流と相互作用しながら浮遊あるいは管壁面上へ付着する現象をシミュレーションするためには、まず二流体噴射弁から噴射された液滴群を取り扱うモデルと液滴群と空気流との間の相互作用を記述するモデル設定が必要になる。まず噴射弁から噴射された液滴群を取り扱うモデルはDDM(Discrete Droplet Model)を用い、液滴群と空気流との間の相互作用を記述するモデルは一方結合現象(One-Way Coupling)を用いた。計算においてははじめに液滴がない場合の吸気管内の流れ場を軸方向と半径方向の速度成分 u , v , 圧力 p , 乱流運動エネルギー k および乱流運動エネルギーの消散率 ϵ を $k-\epsilon$ 2 方程式乱流モデルを導入して有限差分法を用いた。その後、DDMモデルを適用し、抜山・棚沢の粒径分布式で表される代表サンプル液滴を一樣乱数によってランダムに決定する。噴射弁出口では半径方向の位置および噴射方向が一樣乱数によってランダムに決定され噴出される。

液滴の乱流拡散を記述するために、速度は時間平均値と変動成分値との和で表す同時速度成分を用いる。この速度変動値は等方性乱流を仮定し乱流エネルギーに対するガウス確率分布関数を用いて、速度変動値をランダムにサンプリングした。空気乱流と液滴とが相互作用する時間は、2つのタイムスケール、すなわちうずの生存時間と液滴がうず中に存在する時間のうち、小さい方の時間に等しいとし、この時間内に液滴は主空気乱流のうず拡散の影響を受けて吸気管内を浮遊すると考える。

シミュレーションの結果によると管内の流れパターンに影響を与える因子としては吸入空気速度と噴射弁からの噴出空気速度との比、吸気管直径と噴口直径との比、密度比などが挙げられる。管内噴霧挙動を予見するために、まず1個の液滴の飛跡を循環流が生成している場合と生成しない場合の二つの流れパターンに対し液滴粒径、初期噴出速度、噴出方向などを変化させながら検討する。液滴の乱流拡散のために飛跡は同じ経路をとらないで幅に分散している。噴射初期には、液滴はそれ自身の運動量をもって飛び出して流れ方向に飛んでいくが、空気抵抗を受けて次第に運動量が減少し、それとともに管内の乱流の影響を大きく受け液滴の運動方向が変化していく。壁面に付着する液滴群の平均粒径は噴射された噴霧の平均粒径より大きい。また、循環流領域では平均粒径の小さい噴霧粒が付着する。液滴が管内壁面に付着するおもな因子としては液滴粒径が最も大きく影響を与える。

第5章 二流体噴射弁の改良と噴霧特性

第4章の吸気管内の噴霧挙動に関する数値シミュレーションの結果によると、噴霧液滴の管内浮遊率と液膜流量率は噴射された液滴の粒径、噴霧初期速度、噴霧角度などによって影響されることがわかる。一方第3章で試作した二流体噴射弁の微粒化特性を見ると平均粒径が小さい良好な噴霧特性が得られるが噴射燃料流量によって噴霧特性が大きく変化してしまう。したがって本章では燃料供給法として、平均粒径をある一定の大きさに制御可能な可変式の二流体噴射弁を設計、試作しその微粒化特性を明らかにする。

改良二流体噴射弁の設計基準を次のように決めた。(1)可変寸法の二流体噴射弁であること。(2)少ない液体流量で微粒化特性がよいこと。(3)実用機関に適用できるように構造が簡単なこと。(4)噴霧

角を小さくすること。

第 6 章 スロットル弁がない場合の吸気管内の噴霧挙動

本章では可変寸法の二流体噴射弁を用いた場合の管内液滴の挙動を解明し、シミュレーション結果と比較検討する。

管内液滴流束は数値解析から計算された結果と実験値は傾向は一致するが実験値の方が大きい。液膜流量に対してはシミュレーション結果と実験値と傾向はよく一致しているが、実験値の方が小さい。このようにシミュレーション結果値と実験値が多少異なる理由として考えられるのは、シミュレートするときには噴射初期条件が実際と異なることである。すなわち二流体噴射弁から液滴の初期噴出速度や噴射方向は液体微粒化の発生機構に関連があるが、シミュレーションでは噴霧角は実験値、液滴初期速度は假定値を代入して行ったためである。しかし傾向はよく一致しているので管内噴霧挙動を予測することができる。

第 7 章 吸気管内の壁面上での液膜流の挙動

吸気管内の噴霧挙動を明らかにするために、噴射された液滴の管内軌跡だけでなく管壁面上に付着する流れる液膜流の挙動も明確にすることである。実験結果、次のような結果を得た。

管内の液膜厚さの円周方向の分布は管低面で最大になり、下流に流れていくほど重力の影響を受けて順次厚くなる。液膜流に対し理論的解析を行なった結果得た液膜流量の計算値と実験値とは管長さによって増加する割合はほぼ一致しているが、絶対値は多少異なった。

第 8 章 吸気管内の燃料付着の改善

吸気管内の燃料付着の改善のために、今まで行なった実験およびシミュレーションの結果から次のようなものを提案する。

- (1) 二流体噴射弁において高速気流によって微粒化する方法より、液体に旋回を与えて微粒化するスワール型二流体噴射弁を用いて空気の乱れを減らす方法あるいは吸気管内の負圧を利用して燃料を微粒化する方法がよい。
- (2) 平均粒径および噴霧角などを均一に制御可能な可変寸法の噴射弁を用いて噴射する場合は、吸気管内の気化率を向上させる方法として噴霧角点付近を早期加熱する方法を採用すればよい。

第 9 章 結 論

本研究の目的は一点燃料噴射式内燃機関における吸気管内の噴霧流動の改善である。特に吸気管内壁面上に生成する液膜燃料の低減を図り、各シリンダーごとに均一な混合気分配を行うことを目的としている。このような目的で、一点燃料噴射システムの燃料供給装置として、従来より用いられてきた圧力噴射弁の代りに微流化特性がよい二流体噴射弁を用いて実験を行った。

その結果二流体噴射弁から噴射された液滴の管内挙動が明確になり、二流体噴射弁の噴射位置をスロットル弁の後方におくと液膜流量の低減が達成され吸気管内の噴霧流動が改善された。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、自動車用ガソリンエンジンには各種の電子制御式燃料噴射機構が採用されて、エンジン性能の向上や排気の清浄化が図られている。これらのうち、一個の噴射弁を用いて燃料を吸気管内に供給する一点燃料噴射方式では、壁面への燃料付着に伴う各気筒への不均一な燃料配分がエンジンの性能を左右する問題点として指摘されている。

著者は、この方法においては微細噴霧の生成が可能な二流体噴射弁を開発・採用することと、噴射弁下流に絞り弁を配置しないことが、壁面付着低減のための最善策であると着想して一連の研究を行った。本論文はその成果をまとめたもので、全編9章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、吸気管を模擬した実験装置を用い、従来型気化器による液体噴霧の挙動と壁面付着状態を明らかにし、次いで第3章では、試作した二流体噴射弁を設置して同様な実験を行い、両者の結果を比較して、噴射弁設計の必要条件を決定することともに、噴射弁下流に絞り弁を置くことは適切でないと指摘している。

第4章では、絞り弁を排除した直円管内に二流体噴射弁を配置した場合について、空気と噴霧の流動に関する数値シミュレーションを試み、燃料の噴射条件や噴霧特性を変えて管内液滴浮遊率、壁面付着条件、付着量などを求め、噴霧流動に対する有益な指針を得ている。

第5章では、前章までの結果に基づいて噴射弁を改良し、小噴霧角でも微粒化が良好でしかも特性制御が可能な構造を設計して、その微粒化特性を提示している。第6章では、改良した噴射弁を用いて直管、曲管における噴霧流動を調べ、気化器や現用の一点噴射方式のものと比べて壁面付着を低減できることを立証している。これは有用な成果である。

第7章では、壁面上の液膜流動状態を理論と実験によって明らかにし、管内気流速度と液体流量が液膜量に及ぼす影響について論じている。

第8章では、吸気管壁への燃料付着を改善する方策について考察し、噴射弁設計の方向、燃料噴射条件、望ましい吸気管形状、付着燃料の効果的な加熱・蒸発方法の条件などについて実用性のある提案をしている。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、吸気管内への一点燃料噴射機構について新しい方式を提案し、壁面燃料付着の防止や低減に対して有用な基礎データを提供したものであり、内燃機関工学ならびに噴霧工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。